

Aus der Hals- Nasen- Ohren-Universitätsklinik Marburg

Direktor: Prof. Dr. med. J. Berendes

THESIS

MARBURG

1968

**Versuche über
audiokinetische Augenbewegungen
bei Normalhörigen
und bei einseitiger Hörstörung**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Friedrich Wilhelm Huth
aus Iserlohn/Nordrh.-Westf.

Marburg 1968

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

Aus der Hals- Nasen- Ohren-Universitätsklinik Marburg

Direktor: Prof. Dr. med. J. Berendes

Versuche über audiokinetische Augenbewegungen bei Normalhörigen und bei einseitiger Hörstörung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Friedrich Wilhelm Huth

aus Iserlohn/Nordrh.-Westf.

Marburg 1968

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

Angenommen von der Medizinischen Fakultät der
Universität Marburg/Lahn am 12. August 1968

gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof. Dr. Siegert

Referent: Doz. Dr. Ganz

Correferent: Prof. Dr. Berendes

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Einleitung und Fragestellung	1
Versuchsanordnung	4
Ergebnisse	11
Diskussion der Versuchsergebnisse	19
Zusammenfassung	29
Literaturverzeichnis	31

E I N L E I T U N G

Die vorliegende Arbeit stellt den zweiten Teil einer größeren Untersuchungsserie über den sogenannten "audiokinetischen Nystagmus", besser gesagt die audiokinetischen Augenbewegungen, dar.

Im ersten Teil haben GANZ u. FEND die Bedingungen erarbeitet, unter denen es praktisch konstant zu solchen Reaktionen kommt.

Gibt man nämlich während einer vestibulär indifferenten Eigendrehung des Probanden in Ohrhöhe stark überschwellige unterbrochene Tonreize bis zu 2000 Hz, und fordert man den Probanden zu Blickfolgebewegungen bei geschlossenen Augen auf, lassen sich fast regelmäßig folgende Bewegungsarten der Bulbi registrieren:

- 1) Deviationen, die in der Regel zur Umdrehungsgeschwindigkeit streng synchron verlaufen, d.h. einer über die Hälfte der Umdrehungszeit hin ablaufenden Deviation nach der einen Seite folgt eine ebensolche nach der Gegenseite;
- 2) Nystagmus mit Wechsel der Schlagrichtung, der sich im Ablauf insofern an die Geschwindigkeit der Umdrehung hält, als die rasche Komponente abwechselnd die Hälfte der Zeit nach der einen und die gleiche Zeit nach der anderen Seite schlägt.

Meist finden sich beide Bewegungsarten kombiniert, doch gibt es auch ein jeweils isoliertes Vorkommen.

Ohne Bahnung durch Hinwendung der Aufmerksamkeit auf die Hörreize und Verfolgen derselben können die gleichen Reaktionen beobachtet werden. Sie treten dann jedoch sehr inkonstant auf.

Die Untersucher haben aufgrund der bisherigen Ergebnisse die Verwandtschaft der audiokinetischen Reaktion mit dem optokinetischen Nystagmus aufzeigen können.

Im jetzt vorgelegten zweiten Teil werden diese Untersuchungen wie folgt ergänzt:

- a) Es werden die Reaktionen nach Applikation schwellen-
naher unterbrochener Sinustöne untersucht und mit
denen nach stark überschwelliger Reizung verglichen;
- b) Geräusche lassen sich nach CHRISTIAN u. RÖSER, be-
sonders bei rhythmischer Unterbrechung, noch besser
lokalisieren als Töne. Vergleichende Untersuchungen
waren also erforderlich;
- c) TONNDORF hat Untersuchungsergebnisse mitgeteilt,
aufgrund derer er sich zu der Annahme berechtigt
glaubt, der audiokinetische Nystagmus sei eine akustische Vestibularisreaktion. Diese Ergebnisse hat er
mittels Dauerbeschallung erhalten. Wir mußten deshalb
auch eine entsprechende Versuchsreihe durchführen;
- d) Die audiokinetischen Bewegungen der Bulbi mit dem von
uns beobachteten Ablauf setzen offensichtlich voraus,
daß die akustischen Reize lokalisierbar sind, d.h.
der regelrechte Ablauf der Bewegungen scheint an ein
intaktes Richtungsgehör gebunden. Wenn diese Voraus-
setzung zutrifft, müßten sich die audiokinetischen
Reaktionen bei Ausschaltung eines Ohres im Ablauf
verändern. "Zwar ist ein monaurales Richtungsgehör
bekannt. Wie die Erfahrung aber lehrt, sind einseitig
Tauben nur schlecht in der Lage, die Richtung eines
Geräusches anzugeben. Auf jeden Fall ist das Rich-
tungshören mit beiden Ohren unvergleichlich viel
besser als mit einem Ohr allein" (CHRISTIAN u. RÖSER).

Uns interessierte weiterhin die in der Literatur bereits diskutierte Frage, inwieweit sich Unterschiede im akustischen Lokalisierungsvermögen solcher Patienten, bei denen eine einseitige Hörstörung schon lange besteht, von gesunden Versuchspersonen mit Abdeckung eines Ohres bei unserer Versuchsanordnung deutlich machen lassen. Die

Ergebnisse der Versuche zu d) können Hinweise auf eine Eignung unserer Methodik zur Prüfung des Richtungsgehörs ergeben.

VERSUCHSANORDNUNG

Bei den Untersuchungen wurde der grundsätzliche Aufbau der Versuchsanordnung von GANZ und FEND beibehalten. Das Wichtigste sei kurz rekapituliert.

Apparatur:

Wir verwendeten den elektrischen Drehstuhl nach TÖNNIES, auf dem der Proband mit einer Beschleunigung von $1^\circ/\text{sec}^2$ langsam auf eine konstante Drehgeschwindigkeit von $60^\circ/\text{sec}$. gebracht wurde.

Als Schallquelle diente ein Isophon-Hochleistungslautsprecher (Typ Orchester), der in Kopfhöhe des Probanden in einem Abstand von 70 cm (bezogen auf Kopfmitte) hängend angebracht war.

Hörreize waren folgende Tonbandkonserven:

- 1) Audiometertöne 250, 500, 1000 u. 2000 Hz, 6 Impulse/sec.. Dauer je 20 sec. mit einer Pausendauer zwischen den einzelnen Tönen von ebenfalls 20 sec. . (Versuchsserie a und d)
- 2) Kontinuierliches weißes Rauschen (white noise) von 2 mal 20 sec mit 2 gleichlangen Pausen, anschließend ununterbrochen 5 Minuten lang. Lautstärke 60 dB. (Serie b)
- 3) Audiometerton 250 Hz, 6 Impulse/sec., für zweimal 20 sec. mit gleichlangen Pausen; danach gleicher Ton 4 Minuten. Lautstärke 70 dB. (Serie c)

Der Störschallpegel im schallrückwurffarmen Vestibularisraum, in dem die Untersuchungen durchgeführt wurden, wurde mit 38 dB gemessen. Traten Reaktionen im Nystagmogramm aufgrund irgendwelcher Nebengeräusche auf, so wurde das vermerkt. Die Probanden wurden gegebenenfalls aufgefordert, nur auf den jeweils gegebenen Hörreiz zu achten.

Registrierung:

Zur Aufzeichnung der Augenbewegungen diente der Elektromyograph von TÖNNIES, ein Zweifachschreiber, der auch eine vertikale Ableitung gestattet und so die Abgrenzung von Artefakten (Blinzeln, galvanische Hautreflexe) erleichtert. Die Blickwinkleichung war konstant $5^{\circ}=5$ mm. Papiervorschub 1 cm/sec. Einer Umdrehung des Stuhles entsprach also eine Nystagmogrammlänge von 6 cm.

Registriert wurde wie bei GANZ u. FEND immer mit geschlossenen Augen im nicht verdunkelten Raum.

Audiometrische Untersuchung:

Bei sämtlichen Probanden der Versuchsserie d) (monaurale Reizung) wurde vorher ein Tonschwellenaudiogramm angefertigt, um die genaue Hörschwelle zu ermitteln. Bei dem Versuchen kam es ja darauf an, daß die Prüfreize auf einem Ohr deutlich unter der Hörschwelle lagen, und zwar mindestens um die von CHRISTIAN u. RÖSER geforderten 5-7 dB.

Abdeckung eines Ohres (Serie d) :

Bei den Normalhörigen benutzten wir zur einseitigen Abdeckung den DC G e h ö r m a x.^{*)} Außerdem wurde das betreffende Ohr, vor Aufsetzen des DC - Gehörmax, mit O h r o p a x zusätzlich verschlossen.

Zusätzliche Untersuchungen:

(Bei allen Versuchspersonen durchgeführt).
Von jedem Probanden wurde bis auf die Kurzdrehung ein vollständiges klinisches Elektronystagmogramm angefertigt, um eventuelle pathologische Fälle zu erfassen und um einen Einblick in die vestibuläre Erregbarkeit des Probanden zu bekommen. Dies ist besonders im Hinblick auf die TONNDORFschen Ergebnisse von Interesse.

*) Zum Lärmschutz entwickelter Blindkopfhörer der Firma Siegert & Co., Hamburg.

Das Elektronystagmogramm setzte sich aus folgenden Einzeluntersuchungen zusammen:

- a) Nystagmusprüfung mit offenen Augen (Blickrichtungsnystagmus).
- b) Suche nach Spontan-nystagmus bei geschlossenen Augen.
- c) Pendelversuch.
- d) Prüfung des optokinetischen Nystagmus mit laufenden Lichtstreifen, horizontal mit 60° u. 120° / sec., vertikal mit 60° / sec. .
- e) Langdrehung.

Während der Beschleunigung registrierten wir den perrotatorischen Nystagmus, um nach Erreichen der konstanten Drehgeschwindigkeit von 60° / sec. mit dem Abspielen des Hörreizes zu beginnen. Wir warteten, bevor das Tonband eingeschaltet wurde, das Abklingen des perrotatorischen Nystagmus bzw. gegebenenfalls das Aufhören des umgeschlagenen perrotatorischen Nystagmus (2.Phase) ab. Dadurch wollten wir eine störende Überlagerung von audiokinetischem und perrotatorischem Nystagmus weitgehend vermeiden.

Nach dem Abspielen des Tonbands Kontrolle des optokinetischen Nystagmus während der Drehung durch Aufforderung zum Öffnen der Augen. Dann Stoppen des Drehstuhls mit Registrierung des postrotatorischen Nystagmus 1. u. 2. Phase.

Versuchspersonen:

Es wurden insgesamt 71 Personen beiderlei Geschlechtes und verschiedener Bevölkerungsschichten untersucht. Davon waren 61 normal hörende Probanden und 10 einseitig Hörgestörte. Die Versuchspersonen waren zwischen 15 und 61 Jahren alt. Den größten Anteil hatte die Altersgruppe zwischen 19 und 30 Jahren. Bei den Probanden handelte es sich um leicht kranke Patienten der Klinik oder um gesunde Freiwillige.

Es wurden insgesamt vier verschiedene Untersuchungsreihen durchgeführt:

S E R I E a)

Schwellennahe unterbrochene Sinustöne von 250, 500, 1000 u. 2000 Hz. (10 normalhörende Probanden; Aufforderung, die Töne zu verfolgen. Rechts- und Linksdrehung, = 20 Versuche).

Um beidseitig schwellennahe Töne zu bekommen und gleichzeitig den Störschallgrundpegel des Untersuchungsraumes weitestgehend auszuschalten, benutzten wir auf beiden Ohren den DC - Gehörmax. Wir regelten die Prüftönenintensitäten vor Versuchsbeginn so ein, daß die Töne subjektiv gerade noch deutlich wahrnehmbar waren. Es interessierten uns bei der Auswertung folgende Gesichtspunkte:

- 1) Wie sind die Angaben über die subjektiven Bewegungsempfindungen im Vergleich zu GANZ u. FEND ?
- 2) Lassen sich audiokinetische Augenbewegungen mit gleicher Regelmäßigkeit und von gleicher Exaktheit auslösen wie bei den stark überschwelligen Tönen ?

S E R I E b)

Weißes Rauschen, kontinuierlich, 60 dB 20 normalhörige Probanden. Rechts- und Linksdrehung. Dauer 2 x 20 sec, dann Dauerrauschen für 5 Minuten.

Die Probanden wurden zu Beginn des Versuches allgemein auf das Rauschen hingewiesen: "Achten Sie bitte auf das Rauschen".

Keine Aufforderung, das Rauschen zu verfolgen.

Diese Versuchsanordnung war für zwei Fragestellungen wichtig:

- a) Ist das Rauschen, da besser lokalisierbar als Töne (CHRISTIAN u. RÖSER), ein stärkerer Reiz als diese, und ergeben sich somit häufiger positive Reaktionen ohne bewußtes Verfolgen der Hörreize ?
- b) Können durch Dauerrauschen Reaktionen wie die von TONNDORF ausgelöst und als vestibulär gedeuteten hervorgerufen werden ?

Die Auswertung legte Wert auf folgende Punkte:

- 1) Was wurde als subjektive Empfindung angegeben, und wie verhielt sich die Angabe zum Kurvenbild ?
- 2) Wie oft und wann (Umdrehungszahl, Zeit) trat eine Reaktion auf ?

- 3) Welcher Art war die Reaktion ?
- 4) Kam es beim Dauerrauschen zu systematischem richtungs-
konstanten Nystagmus ?
- 5) Trat subjektiv Schwindelgefühl auf und zu welchem
Zeitpunkt ?
- 6) Entsprachen den Schwindelerscheinungen etwa starke
Folgereaktionen der Bulbi ?

S E R I E c)

250 Hz Ton, unterbrochen, 70 dB (20 normalhörige Probanden)

Allgemeiner Hinweis auf die Töne. Keine Aufforderung
zum Verfolgen derselben.

In Analogie zu Serie b (weißes Rauschen) sollten hierbei
die Augenreaktionen während eines über 4 Minuten gegebenen
Dauerreizes mit unterbrochenem Ton untersucht werden,
insbesondere im Hinblick auf die Beobachtungen von
TONNDORF. Der Ton wurde vorher zu Vergleichszwecken
zweimal für 20 sec. gegeben, sozusagen als "Schwachreiz",
entsprechend Serie a und d.

Wir wählten den 250 Hz Ton wegen der besseren Lokalisier-
barkeit gegenüber den von uns sonst mitgeprüften höheren
Frequenzen (GANZ u. FEND, HECHT, KIETZ, MATZKER).

Die Auswertung erfolgte nach den unter b) genannten
Kriterien. Wesentlich erschien eine vergleichende
Gegenüberstellung der Ergebnisse von Serie b und c
(Tabelle 1).

S E R I E d)

Monaurale Prüfung: Hörreize : 250, 500, 1000, 2000 Hz Töne,
unterbrochen. Aufforderung, die Töne
zu verfolgen.

(21 Probanden, davon 10 mit einseitiger Hörstörung,
11 einseitig abgedeckte Normalhörige).

α) Probanden mit normalem Hörvermögen, jedoch maximaler Abdeckung eines Ohres.

Wir gingen so vor:

- I) Bestimmung der Tonhörschwelle (Atlas Audiometer Typ EM 40 A) für Luftleitung beiderseits.
- II) Verschluss eines Gehörganges mit Ohropax.
- III) Erneute Tonschwellenbestimmung dieses Ohres.
- IV) Zusätzliches Aufsetzen des Blindkopfhörers.
Addition der Minimalverdeckung durch diesen (ungünstigste Standardabweichung, siehe dick ausgezogene Linie in Abb. I) zur Tonschwelle unter III.
- V) Einregulierung der Prüffrequenzen, mindestens 10 dB unter der Hörschwelle in IV.
- VI) Versuchsbeginn.

Weißes Rauschen war für diese Versuchsreihe nicht verwendbar, da es alle Hörfrequenzen enthält, einschließlich der nicht ausreichend ausschaltbaren (siehe Abb. I).

β) Patienten mit einseitiger Hörstörung.

Es handelte sich um Probanden mit einseitiger Totaltaubheit bzw. so hochgradiger Schwerhörigkeit, daß ein binaurales Richtungsgehör für die Bedingungen des täglichen Lebens ausgeschlossen war (CHRISTIAN u. RÖSER). Die Lautstärke der Prüftöne wurde in jedem Falle so einreguliert, daß sie bei den Schwerhörigen für jede Frequenz mindestens 15 dB unter der Hörschwelle des schlechten Ohres lag. Die kritische Grenze liegt nach CHRISTIAN u. RÖSER 5 - 7 dB unter der Schwelle, d.h. stärker unterschwellige Prüfereize können nicht mehr für das (binaurale) Richtungshören genutzt werden.

Auswertung der Versuche zu d)

Folgende Kriterien waren uns wichtig:

- 1) Welche subjektiven Angaben werden gemacht ?
- 2) Kommt es bei monauraler Reizung ebenfalls zu - dem Ablauf der Umdrehungen entsprechenden - Reaktionen der Bulbi, aus denen man auf ein intaktes Lokalisierungsvermögen der Hörreize schließen kann (monaurales Richtungsgehör) ?
- 3) Besteht eine sinnvolle Beziehung zwischen subjektiver Bewegungsempfindung der Prüfreize und dem Ablauf der Augenbewegungen im Nystagmogramm ?
- 4) Bestehen Unterschiede zwischen den schwerhörigen und den normalhörigen Versuchspersonen mit abgedecktem einem Ohr ("Trainingsfaktor") ?

Für sämtliche Versuchsserien wurde beachtet, daß die Verteilung der Patienten bzw. gesunden Versuchspersonen nicht nur auf die verschiedenen Intelligenzschichten, sondern auch auf die verschiedenen Altersgruppen etwa gleich war. So sollten ungewollt unterschiedliche Ergebnisse vermieden werden, wie sie hätten entstehen können, wenn eine Gruppe einen größeren Anteil älterer Leute enthalten hätte, bei denen das Richtungsgehör schlechter (MATZKER), allerdings nicht gesetzmäßig schlechter ist (HAHLBROCK und SCHMIDT).

ER G E B N I S S E

S E R I E a)

Zu 1) Subjektive Angaben.

Hierbei fand sich ein erheblicher Unterschied zu den Ergebnissen von GANZ u. FEND mit stark überschwelligen Tonreizen, bei denen die Probanden zum überwiegenden Teil (etwa 80 %) eine Kreisbewegung als subjektive Bewegungsempfindung angegeben hatten.

In unserer Serie gaben nur zwei Probanden eine Kreisbewegung aller 4 Prüfreize an. Die restlichen Versuchspersonen machten folgende Angaben: Halbkreis, Pendel, oder sie konnten keine genaue Bewegung feststellen. In einem Teil der Fälle wechselte die Angabe für jeden der vier Töne.

Zu den unsicheren Angaben über den Bewegungsablauf kamen noch Unsicherheiten in der Ortung des Prüftones. Das ließ sich im Elektronystagmogramm objektivieren (Abb. II).

Der abweichende Ausfall der subjektiven Angaben dürfte auf die Abdeckung der Ohren durch die Kopfhörer zurückzuführen sein. Durch diese wird die schallabschirmende Wirkung der Ohrmuscheln ausgeschaltet, wodurch der Vorne-Hinten-Höreindruck verwischt werden kann.

zu 2)

Kommt es zu audiokinetischen Augenbewegungen mit gleicher Regelmäßigkeit und von gleicher Exaktheit wie bei den Vorversuchen von GANZ u. FEND ?

Trotz der unterschiedlichen subjektiven Angaben stimmt die Zahl positiver Reaktionen mit den Ergebnissen von GANZ u. FEND größenordnungsmäßig etwa überein, soweit man das bei der geringen Anzahl von Versuchen sagen kann.

Es reagierten:

	positiv	-	8 Probanden
schwach	positiv	-	1 Proband
	negativ	-	1 Proband

Jedoch war der Ablauf der audiokinetischen Augenbewegungen verschieden.

In 8 Fällen kam es zwar zu einer positiven Reaktion, aber nur viermal ergab sich bei allen vier Tönen ein Ablauf synchron zur Umdrehung. Bei den restlichen vier Probanden war der Reaktionsablauf nur teilweise synchron (Abb. II).

Ein Zusammenhang zwischen subjektiver Bewegungsangabe und hörreizsynchronem oder nicht synchronem Ablauf der Augenbewegungen war nicht ersichtlich. Gerade diejenigen Probanden, die eine Kreisbewegung empfunden hatten, zeigten keinen konstant synchronen Ablauf aller vier Kurven, was hier noch am ehesten zu erwarten gewesen wäre. Übereinstimmung fand sich lediglich bei dem einzigen Probanden mit negativem Reaktionsergebnis insofern, als er angab, bei keinem Ton eine Bewegung festgestellt zu haben.

S E R I E b)

Zu 1) Subjektive Empfindung.

Sämtliche Probanden gaben als Bewegung entweder einen Kreis (17 Probanden) oder eine Ellipse (3 Probanden) durchgehend für beide Drehrichtungen an, entsprechend der erwarteten guten Lokalisierbarkeit des Rauschens.

Die subjektive Empfindung eines Kreises oder einer Ellipse entsprach aber nicht unbedingt einer positiven Reaktion. Die vier negativen ENG-Kurven finden sich bei denjenigen Versuchspersonen, die eine Kreisbewegung angaben.

Zu 2) Die Auswertung der Nystagmogrammkurven hatte folgendes Ergebnis:

Die Reaktion war:

positiv	bei	12 Probanden
schwach positiv	bei	4 Probanden
negativ	bei	4 Probanden

Die positive Reaktion trat bei 5 Probanden erst auf das Langzeitrauschen hin (5 Min. ununterbrochen) auf. Von den 4 schwach positiven reagierten 3 erst auf das Dauerrauschen.

Eine Reaktion vom Beginn des Dauerrauschens an erhielten wir bei 11 Versuchspersonen. Ab der 72.-96 sec. reagierten 4 und ab der 240. sec. 1 Proband (siehe Tabelle 1).

Dieses Ergebnis entspricht nicht dem von TONNDORF angegebenen Reaktionseintritt erst nach einer größeren Zahl von Umdrehungen.

Zu 3)

Wir fanden, wie schon GANZ u. FEND, teils nur richtungswechselnde Nystagmusschläge, teils reine Deviationen der Bulbi, oder aber einen diesen Deviationen aufgepfropften Nystagmus. Die Reaktionen liefen synchron zur Umdrehung ab. Sie wurden in zwei Fällen zunehmend stärker (Abb. III).

Zu 4)

Zu einem richtungskonstanten Nystagmus während des Dauerrauschens kam es nur bei zwei Probanden.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen von TONNDORF schlug der Nystagmus nicht gegen die Drehrichtung, sondern in der Drehrichtung. Er trat bei der einen Versuchsperson ab der 186. sec. ganz fein für 24 sec. auf. Bei dem anderen Probanden waren es nur einige Schläge in der Drehrichtung nach 215 sec.

In beiden Fällen wurde Schwindelgefühl oder Übelkeit nicht angegeben.

Zu 5)

Bei keinem der 20 Probanden traten Übelkeit oder Schwindel auf. Selbst während sehr starker Folgebewegungen der Bulbi kam es nie zu Schwindelerscheinungen oder Übelkeit (Abb. V). Die typischen Augenbewegungen überdauerten nie den Hörreiz, was gegen eine vestibuläre Genese spricht.

In einem Fall, bei dem die zweite (inverse) Phase des perrotatorischen Nystagmus bis in das Dauerrauschen hinein anhielt, nahm diese vestibuläre Reaktion im Laufe der Beschallung sogar ab (Abb. V).

S E R I E c)

Es handelt sich hierbei um eine analog zu Serie b durchgeführte Untersuchung, nur mit einem anderen Prüfreiz (250 Hz - Ton).

Der Ton wurde von 18 Probanden (von 20) gut lokalisiert. 16 gaben eine Kreis-, 2 eine Ellipsenbewegung an. 2 Probanden machten atypische Angaben. Der eine empfand eine liegende Acht hinter dem Kopf, der andere ein Pendeln des Tones durch den Kopf.

Der Anteil negativer Reaktionen auf den Prüftönen liegt mit 7 Versuchen etwas höher als bei Serie b. Sonst war die Art der Reaktion die gleiche.

Nur geringe Unterschiede zu Serie b ergaben sich bei der Dauerbeschallung (4 Min. lang). Auch bei dieser Versuchsserie war das Einsetzen der Reaktion nach 15 - 20 Umdrehungen, wie TONNDORF es angibt, nicht der Regelfall, sondern beim überwiegenden Teil (11 Probanden) setzte die Reaktion mit Beginn des Langzeitreizes ein.

Schwindelgefühl trat in 2 Fällen am Ende des Langzeitreizes auf. Die eine Versuchsperson öffnete die Augen, weil ihr übel wurde (Abb. V). Die ENG-Kurve war vorher fast völlig ruhig. Sie zeigte jedenfalls keinen Nystagmus gegen die Drehrichtung, der für vestibulär bedingt hätte gelten können.

Auch bei dem anderen Probanden war das ENG sonst ruhig.

Interessant sind in diesem Zusammenhang drei Fälle mit pathologischen Vestibularisbefunden.

Im ersten Fall kam es bei pathologischem vestibulärem Linksüberwiegen zu keinem Schwindelgefühl (Abb. IV).

Im zweiten Fall handelte es sich um einen hochgradig vestibulär untererregbaren bzw. unerregbaren Probanden. Bei vestibulärer Genese des audiokinetischen Nystagmus hätte man keine derartige Reaktion erwarten dürfen. In unserem Fall traten Deviationen auf, jedoch interessanterweise fast ohne Ruckanteil (Abb. VI).

Im dritten Fall ließen sich trotz vestibulärer Übererregbarkeit und trotz stärkster anhaltender Folgebewegungen der Bulbi (über 4 Min.) keine vestibulären Reizerscheinungen auslösen (Abb. V).

S E R I E d)

Zuα) 11 Normalhörige, ein Ohr abgedeckt.
Rechts- und Linksdrehung.

Folgende subjektive Angaben wurden notiert:

Kreis durchgehend für alle 4 Töne	1
Halbkreis	3
Keine sichere Ortung	7

(Ton wurde nur lauter u. leiser bzw.
ging auf das Ohr zu und von ihm weg)

Dieses Ergebnis entspricht den Angaben von CHRISTIAN u. RÖSER, daß es nämlich bei einseitigem Unterschreiten der Hörschwelle um mindestens 5 - 7 dB nicht mehr zu einem sicheren Richtungseindruck kommt.

Aus der Reihe fällt der Proband, der durchgehend für alle 4 Töne eine Kreisbewegung angibt. Ein Abdeckungsfehler kommt nicht in Frage, wie das Tonschwellenaudiogramm zeigt (Abb. VII). Der 2000 Hz Ton liegt sogar 40 dB unter der Schwelle, also um ein Mehrfaches über dem von CHRISTIAN u. RÖSER geforderten Betrag. Es müßte hier also ein ungewöhnlich gutes monaurales Richtungsgehör vorliegen.

Eine der subjektiven Empfindung entsprechende synchrone audiokinetische Reaktion der Augen war indes nur beim 2000 Hz-Ton festzustellen (Abb. VII).

Umgekehrt fand sich bei einem Probanden, der bei bin-auraler Reizung exakt reagiert hatte, nach Abdeckung eines Ohres immer noch eine exakte Reaktion, obwohl subjektiv jetzt nur noch ein Pendeln der Töne bemerkt wurde (Abb.VIII), Akustisch-räumliches Erinnerungsvermögen ?

Folgende Reaktionen der Augen wurden in dieser Serie beobachtet:

durchgehend synchroner Bewegungsablauf	1
teilweise synchroner Ablauf	4
nicht synchroner Ablauf	4
keine Reaktion	2

Zu β) Einseitige Hörstörung (siehe oben)

Subjektive Phänomene:

Kreisbewegung aller Töne	2
Keine sichere Ortung	8

Kurvenabläufe:

durchgehend synchron	0
teilweise synchron	2
nicht synchron	4
keine Reaktion	4

Eine vergleichende Gegenüberstellung der Ergebnisse von Serie d zeigt die Tabelle 2.

Abbildung IX zeigt einige Reaktionen einseitig Hörgestörter, aus denen sich ergibt, daß die Patienten zur exakten Ortung der Prüftöne nicht in der Lage waren.

T A B E L L E 1

Vergleichende Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse aus Serie b) und c).

	<u>Serie b</u> (Weißes Rauschen)	<u>Serie c</u> (250 Hz Ton)
Zahl der Probanden	20	20
a) <u>Subjektive Empfindung</u>		
Kreis oder Ellipse	20	18
Liegende 8 hinter d. Kopf	-	1
Pendel	-	1
Übelkeit	-	2
b) <u>Augenbewegungen</u>		
Positiv	12	10
davon erst auf Dauerbeschallung	5	2
Schwach positiv	4	3
davon erst auf Dauerbeschallung	3	2
Negativ	4	7
Reaktion positiv bei Dauerbeschallung		
ab Anfang	11	11
ab 25. sec.	-	1
ab 72.-96. sec.	4	-
ab 115. sec.	-	1
ab 240. sec.	1	-

T A B E L L E 2

Vergleichende Gegenüberstellung der Ergebnisse bei einseitig Hörgestörten und einseitig abgedeckten Normalhörigen der Serie d.

	<u>einseitige Hörstörung</u>	<u>einseitig abgedeckt</u>
Zahl der Probanden	10	11
a) <u>Subjektive Phänomene</u>		
Kreisbewegung durchgehend für alle 4 Töne	2	1
Halbkreis	-	3
Keine sichere Ortung	8	7
b) <u>Kurvenabläufe</u>		
durchgehend synchron	0	1
teilweise synchron	2	4
nicht synchron	4	4
keine Reaktion	4	2

Diskussion der Versuchsergebnisse

=====

Mit unserer ersten Versuchsserie haben wir die Reaktion der Augen auf rotierende schwellennahe Hörreize (unterbrochene Sinustöne) bei binauralem Hören untersucht. Es zeigte sich dabei, daß

- a) die subjektive Bewegungsempfindung der akustischen Reize meist unsicherer war als bei den Vorversuchen von GANZ und FEND mit stärker überschwelligen Reizen (60 dB),
- b) objektiv der bei geschlossenen Augen registrierte Bewegungsablauf der Bulbi der tatsächlichen Bewegung der Reizquelle bei einem Teil der Probanden nicht so exakt entsprach wie bei den genannten Vorversuchen.

Diese Abweichungen sind nicht, wie naheliegend wäre anzunehmen, durch die Schwellennähe der Prüftöne bedingt, KEIDEL, WIGAND und KEIDEL haben bei Untersuchungen des "trading" mit clics festgestellt, daß die Mittenentscheidung bei Lautstärken zwischen 30 und 50 dB am wenigsten anstrengend ist, d.h. bei mittleren Lautstärken kann offenbar am besten lokalisiert werden; sie haben aber weiterhin gefunden, daß schwellennähere Reizungen (20 und 10 dB) keine wesentlich schlechteren Ergebnisse erbringen. Das Richtungsgehör scheint also für mittlere und geringe Lautstärken etwa gleich gut zu sein. Berücksichtigt man lediglich den Einfluß der Lautstärke der Prüfreize, liegen eher unsere Vorversuche mit 60 dB-Reizung ungünstiger als die jetzige Serie. Wir mußten die Töne aber damals so laut geben, um ausreichend weit über dem Störschallpegel des Untersuchungsraumes zu liegen. 60 dB stellen hier schon die Grenze nach oben dar, denn KEIDEL, WIGAND und KEIDEL haben weiterhin festgestellt, daß oberhalb von 60 dB durch dreimal so hohe Intensitätsdifferenzen noch keine Seitenwirkung erzielbar ist.

Bei späteren Vorversuchen haben wir übrigens die Ausschaltung des Störschalles erreicht, indem wir diesen Störschall durch ein mit dem Drehstuhl rotierendes "white noise" verdeckten.

Störgeräusche im Untersuchungsraum vollständig zu eliminieren war uns nicht möglich. Es erscheint im übrigen gar nicht ideal, in so einem schalltoten Raum zu arbeiten, denn ORMEROD hat festgestellt, daß es Versuchspersonen gibt, die dann auf vestibuläre Reizung mit nur geringem Nystagmus oder überhaupt nicht reagieren..

Durch die Änderung der Prüftönintensität ist also das schlechtere Ergebnis unserer jetzigen Versuchsserie nicht erklärbar. Entscheidend dürften vielmehr die Nebeneffekte durch das Aufsetzen der Blindkopfhörer sein. Die Kopfhörer haben ja dreierlei Auswirkungen:

1. sie dämpfen die Prüfreizintensität bis auf Schwellennähe = keine Auswirkung auf Lokalisierbarkeit zu erwarten (siehe oben);
2. sie schalten die leiseren Umgebungsgeräusche (Störschallpegel des Untersuchungsraumes) praktisch völlig aus = günstiger Effekt, da keine Ablenkung durch Nebengeräusche mehr;
3. sie decken beide Ohrmuscheln ab.

Die Ohrmuscheln, der Anlage nach Schallaufnahmetrichter, sind beim Menschen nach Form und Einstellbarkeit nur noch Rudimente. Sie haben aber durch ihre schallabschirmende Wirkung doch eine gewisse Bedeutung für das Richtungsgehör behalten. Nach LEHNHARDT erleichtern sie besonders die Vorne- Hinten- Unterscheidung, und zwar dadurch, daß bei Lokalisation einer Schallquelle hinter der Versuchsperson die höheren Frequenzen von der Ohrmuschel reflektiert werden, während die langwelligeren tieferen durch den Gehörgang das Trommelfell erreichen können.

In unserem Falle wird das Erkennen einer Kreisbewegung der Prüftöne durch die Abdeckung der Ohrmuscheln also deutlich erschwert. Damit erklären sich die ungenauen subjektiven Angaben zwanglos, ebenso die Schwierigkeiten, den akustischen Stimulus bei geschlossenen Augen in seiner Bewegung exakt zu verfolgen. Unsere Versuchsserie ist damit zu einer weiteren experimentellen Stütze für die Wichtigkeit der Ohrmuscheln beim Richtungshören geworden.

In einer zweiten Versuchsreihe haben wir uns bemüht herauszufinden, ob Rauschen tatsächlich als Stimulus für das Richtungshören besser geeignet ist als der reine, wenn auch unterbrochene Sinuston.

CHRISTIAN und RÖSER, HECHT, KIETZ und Andere haben mitgeteilt, daß reine Töne als Reize für Richtungsgehöruntersuchungen nicht gut geeignet sind. Sie werden praktisch nur dann richtig lokalisiert, wenn sie als kurze Impulse mit einer Dauer von 0,2 sec. oder kürzer auftreten, so daß keine stehenden Wellen entstehen können. Bei solchen kurzen Impulszeiten können in beschränktem Umfange auch höhere Frequenzen lokalisiert werden, und zwar durch Ausnützung von Intensitätsdifferenzen. Dauertöne dagegen sind nur unterhalb von 800 Hz ohne Einschränkung und zwischen 800 und 1600 Hz mit Vorbehalt verwendbar (CHRISTIAN und RÖSER). In unserer ersten Arbeit (GANZ und FEND) konnten wir zeigen, daß sich unterbrochene Sinustöne bis 2000 Hz mit Impulsdauern von etwa 0,085 sec. bei Rotation gut mit geschlossenen Augen verfolgen lassen. Auch ohne Bahnung der Reaktion durch Hinwendung der Aufmerksamkeit und Folgebewegungen kam es bei einem Teil der Probanden zu typischen Reaktionen. Dieser positive Anteil an Versuchen war bei Dauertönen wesentlich kleiner als bei Tonimpulsen (Vorversuche von GANZ).

Die jetzigen Versuche mit Rauschen sollten auch zeigen, ob das Rauschen über die bessere Lokalisierbarkeit hinaus als solches besser geeignet ist, unwillkürliche audiokinetische Bewegungen der Augen auszulösen, d.h. ob es ohne Verfolgen des Hörreizes zu einem höheren Anteil positiver Reaktionen kommt als bei Tonimpulsen.

Wir haben ein nicht unterbrochenes weißes Rauschen verwendet. Das Erzeugen von Rauschimpulsen, die nach CHRISTIAN und RÖSER noch bessere Ergebnisse hätten erwarten lassen, war uns z.Zt. nicht möglich. Die gleichen Autoren haben übrigens darauf hingewiesen, daß die fre-

quenzmäßige Zusammensetzung der Prüfgeräusche für deren Lokalisierbarkeit ohne Bedeutung ist.

Wir erhielten bei 16 von 20 Probanden eine positive Reaktion der Bulbi. Zu berücksichtigen ist hierbei, daß diese Reaktion in 8 Versuchen erst auf eine Dauerbeschallung hin auftrat, wie wir sie mit Tönen bisher nicht durchgeführt hatten. Bei Auswertung der Kurzzeitreizung allein blieben noch 8 von 20 positive Versuche. Mit unterbrochenen Tönen hatten wir 6 bzw. 7 von 30 positive Reaktionen erzielt (Dissertation FEND).

Es erwies sich als notwendig, für reine Töne die gleichen Versuchsbedingungen herzustellen wie für das Rauschen. In dieser dritten Versuchsserie benutzten wir von unseren Prüffrequenzen nur den am besten lokalisierbaren 250 Hz Ton. Wie TABELLE I zeigt, entsprechen sich die Ergebnisse der Versuche mit Rauschen und mit unterbrochenem Ton ziemlich gut. Das Geräusch ist aber, wie schon aus der Literatur ersichtlich, etwas besser lokalisierbar.

Da in einigen Fällen die audiokinetische Reaktion im Laufe der Dauerbeschallung stärker wurde (Abb. III), muß die Frage einer Bahnung durch die langdauernde Eigenrotation des Probanden, also über das Vestibularorgan, diskutiert werden. Daß eine Bahnung des optokinetischen Nystagmus, eines Verwandten der von uns untersuchten Reaktion, durch fortlaufende Drehreizung im Prinzip möglich ist, haben die Kaninchenversuche von BORNSCHEIN und KREJCI gezeigt. Bei unseren Versuchen handelte es sich indes um eine nach allgemeiner Ansicht vestibulär indifferente Drehung konstanter Geschwindigkeit von $60^{\circ}/\text{sec.}$, die für eine Bahnung wohl nicht in Frage kommt.

Spielt der Vestibularapparat überhaupt eine Rolle bei der Entstehung von Augenrucken während rotierender akustischer Stimulation? TONNDORF ist auf Grund seiner Versuche mit längerdauernder Beschallung zu dem Schluß gekommen, der audiokinetische Nystagmus in der von ihm erzeugten Form systematisch gegen die Drehrichtung sei Ausdruck einer

akustischen Vestibularisreaktion. Ein Hauptargument war die positive Nystagmusreaktion bei Totaltauben.

Die Möglichkeit eines Ansprechens des Vestibularorgans ist mehrfach diskutiert worden. Nach GROEN und WENDT (persönl. Mitteilung von J. TONNDORF) soll der Resonanzpunkt des Vestibularorgans bei 0,3 Hz liegen, während der Resonanzpunkt für die Cochlea mit etwa 3000 Hz anzusetzen ist. Ein akustisches Signal kann nach TONNDORF für das Vestibularorgan wirksam gemacht werden, wenn man es langsam moduliert. Bewiesen ist die Möglichkeit einer akustischen Vestibularisreaktion durch das TULLIO-Phänomen. Allerdings hat diese Reizantwort des Gleichgewichtsapparates auf Beschallung keine praktische Bedeutung, denn sie ist - auch nach Ansicht neuerer Autoren - an das Vorhandensein eines Fensters in der Innenohrkapsel gebunden. MIKAELIAN hat bei tauben Mäusen des Df/Df-Stammes einzelne Einheiten des N. vestibularis abgeleitet. Er konnte außer der Spontanaktivität nur bei gefensterten Tieren Reizantworten registrieren, und zwar für Töne und clicks.

Auch BARTUAL PASTOR und BORUCKI lehnen auf Grund ihrer experimentellen Ergebnisse eine Reizmöglichkeit des Vestibularapparates durch akustische Reize beim gesunden Menschen ab. Damit ergibt sich auch keine direkte Mitwirkung des Gleichgewichtsapparates für das Richtungshören.

Da TONNDORF einen Nystagmus meist erst nach längerer Reizrotation auslösen konnte, haben wir insgesamt 40 Versuchspersonen 4 Minuten lang beschallt, zur Hälfte mit dem unterbrochenen 250-Hz-Ton und zur anderen Hälfte mit weißem Rauschen. Trotzdem ist es uns in keinem Falle gelungen einen als akustische Vestibularisreaktion deutbaren systematischen Nystagmus mit vegetativen Begleiterscheinungen auszulösen. Es kam lediglich zu den bereits beschriebenen Augendeformationen und richtungswechselnden Rucken, deren enge Verwandtschaft mit dem optokinetischen Nystagmus nach unseren bisherigen Ergebnissen nicht mehr bezweifelt werden kann.

Lediglich zweimal wurde während der Dauerbeschallung Übelkeit angegeben, ohne daß die Nystagmogrammkurve irgendwelche Besonderheiten aufwies. Augenöffnen ergab in einem Falle einen optokinetischen Nystagmus (Abb. V).

In drei weiteren Fällen trat bei einer Drehrichtung, nicht aber bei der gegenläufigen Drehung, ein schwacher Nystagmus in der Richtung der Drehung auf. Es handelte sich jeweils um einen perrotatorischen Nystagmus bei vestibulärem Seitenüberwiegen (ABB. IV). Übelkeit wurde von keinem dieser Patienten angegeben.

Besonders bemerkenswert war das Versuchsergebnis bei einem Patienten mit rotatorisch praktisch unerregbaren Vestibularorganen. Hier kam es während Dauerbeschallung mit dem unterbrochenen 250- Hz- Ton - ohne daß zu Folgebewegungen aufgefordert war - zu umdrehungsentsprechenden Augendeformationen, jedoch mit auffallend geringem Ruckanteil (Abb. VI).

Zu dieser Beobachtung paßt eine Mitteilung von GUTMAN, ZELIG und BERGMANN, die beim Kaninchen nach Ausschaltung beider Labyrinth eine deutliche Verminderung des optokinetischen Nystagmus gefunden haben. Anscheinend verstärkt die "tonisierende Wirkung" der vestibulären Impulse den optokinetischen (und auch den audiokinetischen ??) Nystagmus.

Unsere Versuche haben also keinen Nystagmus im Sinne von TONNDORF ergeben. Allerdings ist die von uns gewählte Versuchsanordnung nicht geeignet, die TONNDORFschen Ergebnisse exakt nachzuprüfen. Dazu fehlte die geforderte langsame Modulierung der akustischen Signale. Wir müssen uns darauf beschränken festzustellen, daß wir lediglich dem optokinetischen Nystagmus eng verwandte Phänomene auslösen konnten, nicht aber einen systematischen richtungskonstanten Nystagmus mit subjektiven Begleiterscheinungen, der als akustische Reizantwort des Vestibularorgans gedeutet werden könnte.

Unsere letzte Untersuchung schließlich galt dem Verhalten der audiokinetischen Reaktion bei einseitiger Hörstörung.

Über die akustischen Augenreaktionen bei doppelseitiger Hörstörung insbesondere durch Schall- Leitungsschwerhörigkeit soll in einer späteren Arbeit berichtet werden (MATTERN und GANZ).

Nach CHRISTIAN und RÖSER haben Patienten, bei denen die Hörschwelle einer Seite für alle Frequenzen um mehr als 30 dB abgefallen ist, bereits Schwierigkeiten mit der Schall- Lokalisation auf Grund von Zeitdifferenzen, und zwar besonders dann, wenn sich die Schallquelle nahe dem schwerhörigen Ohr befindet. Nach einer neueren Arbeit von RÖSER kann es beim einseitig Schwerhörigen unter völlig gleichen Bedingungen zu einer unterschiedlichen, oft entgegengesetzten Einschätzung der Lokalisationsempfindung kommen, da manche Patienten in der Lage sind, den Zeitunterschied auszunützen, andere sich dagegen nach dem lauterem Eindruck orientieren. Bei etwa einem Drittel der Versuchspersonen fand sich eine Abweichung zum schlechten Ohr, bei zwei Dritteln zum normalhörigen Ohr. RÖSER erklärt die Fehldeutungen in erster Linie durch das gestörte Lautheitsverhältnis in beiden Ohren.

An dieser Stelle seien zum besseren Verständnis einige Bemerkungen über den Mechanismus des Richtungsgehörs eingefügt.

Drei Faktoren sind für das binaurale Richtungsgehören von Bedeutung:

1. die Zeitdifferenz, die sich aus dem Wegunterschied des Schalles zu beiden Ohren ergibt. Sie ist null, wenn sich die Schallquelle in der Sagittalebene vor oder hinter dem Kopf befindet, und erreicht ihren größten Wert bei genau seitlicher Stellung der Schallquelle. Wir verdanken die Zeitdifferenztheorie v. HORNBOSTEL und WERTHEIMER. Sie ist wohl die wichtigste.
2. die Intensitätsdifferenz. Das der Schallquelle näher gelegene Ohr empfängt eine größere Schallintensität, hört also lauter.
3. die Klangfarbendifferenz. Hier spielen Schallschatten des Kopfes und abschirmende Wirkung der Ohrmuscheln eine Rolle.

Andererseits ist aber "ein Richtungshören mittels Zeitdifferenz bis zu einem gewissen Grade auch noch unter der Hörschwelle möglich, sofern der Schall überhaupt (auf einem Ohr) perzipiert wird (CHRISTIAN und RÖSER)". Will man das binaurale Richtungshören ausschalten, muß man mit der Prüflautstärke mehr als 7 dB unter der Schwelle des schlechten Ohres bleiben.

Diese Bedingung war bei unseren Versuchen erfüllt. Wir haben zum einen eine Gruppe einseitig tauber bzw. hochgradig schwerhöriger Patienten untersucht, zum anderen bei Normalhörigen ein Ohr maximal abgedeckt, so daß die Prüfschallintensität mindestens 10 dB unter der so erhaltenen Hörschwelle lag.

Erwartungsgemäß waren die subjektiven Bewegungsempfindungen hinsichtlich der Schallquelle jetzt viel unsicherer. Nur 3 von 21 Probanden gaben die tatsächliche Kreisbewegung der Prüftöne richtig an.

Uns interessierte vor allem die Frage, ob qualitative Unterschiede in der Lokalisierbarkeit des Schalles bestehen zwischen solchen Menschen, deren Hörstörung plötzlich eingetreten ist (Gruppe mit Abdeckung eines Ohres, Hörsturzpatienten) und Patienten mit lange zurückliegenden Höreinbuße. CHRISTIAN und RÖSER nehmen eine Art Trainingsfaktor an:

"Erfahrung spielt beim Richtungshören eine entscheidende Rolle. Einseitig Taube dürften theoretisch überhaupt keine Richtung mehr wahrnehmen können. Das stimmt auch in praxi bei Patienten, die plötzlich ertaubt sind. Liegt die Ertaubung einige Jahre zurück, so ist der Patient in der Lage, Richtungen in gewissem Grade richtig anzugeben, d.h. er hat im Laufe der Zeit gelernt, aus der Verschiedenheit des Klangbildes die Richtung zu deuten; umso besser, je mehr ihm das zu lokalisierende Geräusch vertraut ist, aber auch dann, wenn er zur Richtungsbestimmung den Kopf bewegen darf. Hört der einseitig

Taube das Geräusch scharf, d.h. mit voller Wirkung der hohen Frequenzen, dann weiß er das Geräusch auf der Seite des gesunden Ohres; wenn das Geräusch dumpf klingt, also die hohen Töne durch den Kopfschatten unterdrückt werden, weiß er es auf der anderen Seite. Sicherlich wird auch der Nachhall dabei in irgendeiner Form Berücksichtigung finden."

Bei unseren Versuchen einseitig Hörgestörte sind die Bedingungen des Richtungshörens in dreierlei Hinsicht erschwert:

- a. als Prüfreize wurden schwerer lokalisierbare unterbrochene Audiometertöne verwendet
- b. der Kopf war fixiert
- c. die Untersuchung fand im schallrückwurfarmen Raum statt (Kein Nachhall !).

TABELLE II zeigt, daß unter diesen erschwerenden Umständen die seit längerer Zeit einseitig hörgestörten Patienten offensichtlich die gleichen Schwierigkeiten hatten wie die Gruppe der einseitig abgedeckten Normalhörigen. Um Unterschiede herauszuarbeiten, könnte man noch entsprechende Versuche mit Geräuschen an einer größeren Gruppe von Versuchspersonen durchführen.

Nach CHRISTIAN und RÖSER ist allerdings für Geräusche kaum ein günstigeres Ergebnis zu erwarten, denn Intensitätsdifferenzen haben hier unter natürlichen Verhältnissen keinen Einfluß auf das Richtungshören, und Zeitdifferenzen fallen ja bei einohrigem Hören naturgemäß aus.

Kurven, deren eindeutig umdrehungssynchrones Verhalten auf die doch vorhandene Möglichkeit einer Ortung der rotierenden Töne schließen läßt, fanden sich auffallenderweise nur bei einseitig abgedeckten Normalhörigen.

Ein 28-jähriger Mann, der subjektiv die Kreisbewegung richtig angegeben hatte, zeigte gerade beim schwer ortbaren 2000 Hz-Ton ein klassisches Kurvenbild. Ein Abdeckungsfehler scheidet aus, wie das Audiogramm zeigt (Abb. VII). Offensichtlich war dieser Proband in der

Lage, mit den Intensitäts- und Klangfarbenschwankungen allein auszukommen.

Im zweiten Falle handelte es sich um einen Probanden, der bereits - in der gleichen Sitzung - für Versuchsserie I (beide Ohren abgedeckt) eingesetzt worden war. Hier hatte er einen exakten Kurvenablauf geboten (Abb. VIII, Kurve I). Nach Ausschalten eines Ohres wurde subjektiv nur noch ein Pendeln der Töne bemerkt. Der Kurvenablauf blieb jedoch zunächst exakt (Kurve III/IV). Erst bei der zweiten Drehung wurden die Augenbewegungen unsicher (Kurve IV/2). Möglicherweise war hier eine "akustisch-räumliche Erinnerung" im Spiele.

Faßt man alles zusammen, haben also unsere Versuche ergeben, daß die von uns verwendete Methodik, audiokinetische Augenbewegungen zu erzeugen, zwar für die objektive Hörprüfung nicht geeignet ist (Reaktionen auf Hörreiz allein zu inkonstant), daß sie aber als orientierende Untersuchung zur Kontrolle des Richtungsgehörs brauchbar scheint. Eine weitere Arbeit wird zeigen, ob die Methode den Bedürfnissen der Praxis genügt.

Zusammenfassung:

Im vorliegenden zweiten Teil der Untersuchungen über audiokinetische Augenbewegungen wurden normalhörige Probanden während einer vestibulär indifferenter Eigen-drehung mit schwelennahen unterbrochenen Sinustönen, sowie mit weißem Rauschen beschallt. Weiterhin wurde je eine Versuchsserie mit Dauerbeschallung durch Tonimpulse und weißes Rauschen durchgeführt. Abschließend prüften wir analog diesen Versuchen die audiokinetischen Reaktionen auf Töne bei monauralem Hören.

Die Versuche mit schwelennahen Tönen ergaben eine schlechtere Lokalisierbarkeit der Prüfreize und entsprechend weniger exakte Folgebewegungen der Bulbi. Ursache war die Ausschaltung der für die Vorne-hinten-Unterscheidung wichtigen Ohrmuscheln durch Blindkopfhörerabdeckung.

Rauschen ist für Untersuchungen des Richtungsgehörs etwas besser geeignet als unterbrochene Sinustöne, soweit die subjektive Schall- Lokalisation als Kriterium herangezogen wird. Die Folgebewegungen der Bulbi unterschieden sich dagegen bei beiden Versuchsserien in ihrer Exaktheit kaum.

Auf vestibuläre Einflüsse zu beziehende subjektive und objektive Erscheinungen (systematischer Nystagmus gegen die Drehrichtung) konnten auch während Dauerbeschallung nicht beobachtet werden. Wir fanden lediglich die schon von FEND beschriebenen, dem optokinetischen Nystagmus eng verwandten Augenbewegungen.

Die Versuche bei monauralem Hören wurden mit einseitig hochgradig hörgestörten oder tauben Patienten einerseits und Gesunden mit maximal ausgeschaltetem einem Ohr andererseits durchgeführt. In beiden Gruppen von Versuchspersonen war eine exakte Lokalisierung der Prüftöne nur bei einzelnen Probanden möglich. Für die Beschallungs-

dauer durchgehende synchrone Folgebewegungen der Bulbi mit Rucken fanden sich nur bei einem einzigen Normalhörigen mit Abdeckung, bei den Hörgestörten überhaupt nicht. Das Ergebnis dieser Serie entspricht den Angaben in der Literatur, daß das monaurale Richtungsgehör unvergleichlich viel schlechter ist als das binaurale.

Unsere Versuchsanordnung scheint sich im Prinzip für Richtungsgehöruntersuchungen zu eignen.

Die Gesamtzahl der untersuchten Personen war 71.

L i t e r a t u r

- BARTUAL PASTOR J. u. H.-J. BORUCKI:
Experimentelle Untersuchungen über die
gleichzeitige Einwirkung akustischer
und vestibulärer Reize beim Menschen.
Arch. Ohren-, Nasen- u. Kehlk.heilk.
184, 419 (1965)
- BORNSCHEIN, H. u. F. KREJCI:
Über einen Bahnungseffekt bei sukzessiver
Einwirkung von vestibulären und opto-
kinetischen Reizen.
Experientia (Basel), 11, 200 (1955)
- CHRISTIAN, W. u. D. RÖSER:
Ein Beitrag zum Richtungshören.
Z. Laryng. Rhinol. 36, 431 (1957)
- FEND, J.:
Über audiokinetische Augenbewegungen.
Inaug.Diss. Marburg/Lahn 1967.
- GANZ, H.:
Unveröffentlichte Versuche 1962.
- GUTMAN, J., S. ZELIG a. F. BERGMANN:
Optokinetic nystagmus in the labyrinth-
ectomised rabbit.
Confin. neurol. (Basel) 24, 158 (1964)
- HAHLBROCK H. u. H. SCHMIDT:
Binauraler Hörsynthesetest und Prüfung
des Richtungsgehörs bei zentralen Hör-
störungen.
Int. Soc. Audiol. 5. Congr. 1960, 131
- HECHT, H.:
Naturwiss. 10 (1922) 11 (1923)
- HORNPOSTEL, E. M. v.: Das räumliche Hören.
Handb. norm. path. Physiol. hersg. von
BETHE/v.BERGMANN/EMBDEN/ELLINGER. Bd. XI,
Rezeptionsorgane I, S. 602
J. Springer, Berlin 1926
- KEIDEL, W.D., M.E. WIGAND u. V.O. KEIDEL:
Lautheitseinfluß auf die Informations-
verarbeitung beim binauralen Hören des
Menschen.
Pflügers Archiv 270, 370 (1960)
- KIETZ, H.:
Das räumliche Hören.
Acustica (Zürich) 3, 73 (1953)

- LEHNHARDT, E.: Physiologie des Mittelohres.
Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. Ein kurzgef.
Handb. hersg. von BERENDES/LINK/ZÖLLNER.
Bd.III/1.167. Gg. Thieme, Stuttgart 1965.
- MATZKER, J. u. E. SPRINGBORN:
Richtungshören und Lebensalter.
Z. Laryng. Rhinol. 37, 739 (1958)
- MIKAELIAN, D.: Vestibular response to sound : single
unit recording from the vestibular nerve
in fenestrated deaf mice (Df/Df).
Acta oto-laryng. (Stockh.) 58, 409 (1964)
- ORMEROD, F. C.: Variations in nystagmoid response to
stimulation, caused by a number of
physical, mental and chemical factors
Acta oto-laryng. (Stockh.) 57, 401 (1964)
- RÖSER, D.: Das Richtungsgehör des Schwerhörigen.
Z. Laryng. Rhinol. 45, 423 (1966)
- TONNDORF, J.: Eine akustisch ausgelöste Vestibularis-
Reaktion.
Klin. Wschr. 26, 149 (1948)
- TONNDORF, J.: persönliche Mitteilung 1964
- TULLIO, P. e S. CANOVA: Richerche comparative sopra
stimolazione calorica, elettrica, rotatoria
e sonora dei laberinto acustico II. Modi-
ficazioni dei riflessi sonori ottenuti
mediante variazioni termiche.
Zbl. Hals-. Nas.- u. Ohrenheilk. 22, 317
(1934)

Der DC-GEHÖRMAX ® ist geprüft und gemessen von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig:

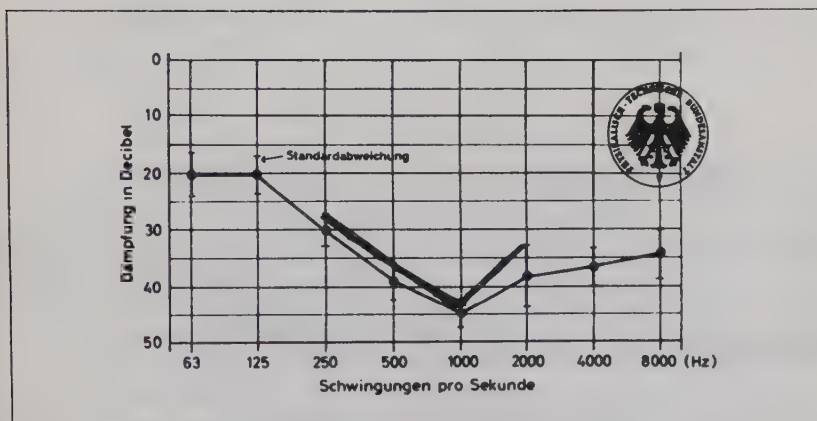


ABBILDUNG I: Dämpfungskurve des DC - GEHÖRMAX.

Die dick ausgezogene Linie zeigt die ungünstigste Standardabweichung.

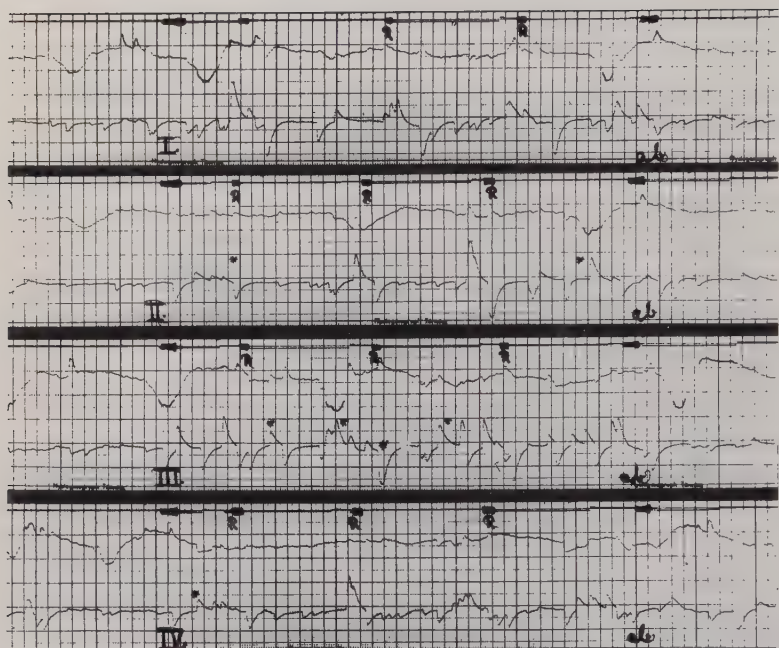


ABBILDUNG II: Prüfung mit unterbrochenen Sinustönen (I=250 Hz, II=500 Hz, III=1000 Hz, IV=2000 Hz) bei Abdeckung beider Ohren = schwellennahe Reizung. Unsichere Ortung besonders des 1000 Hz Tones. Keine Augen-deviationen, nur Rucke. R = Lautsprecher vor dem rechten Ohr * = besonders auffällige Unsicherheiten (22 j. Mann)

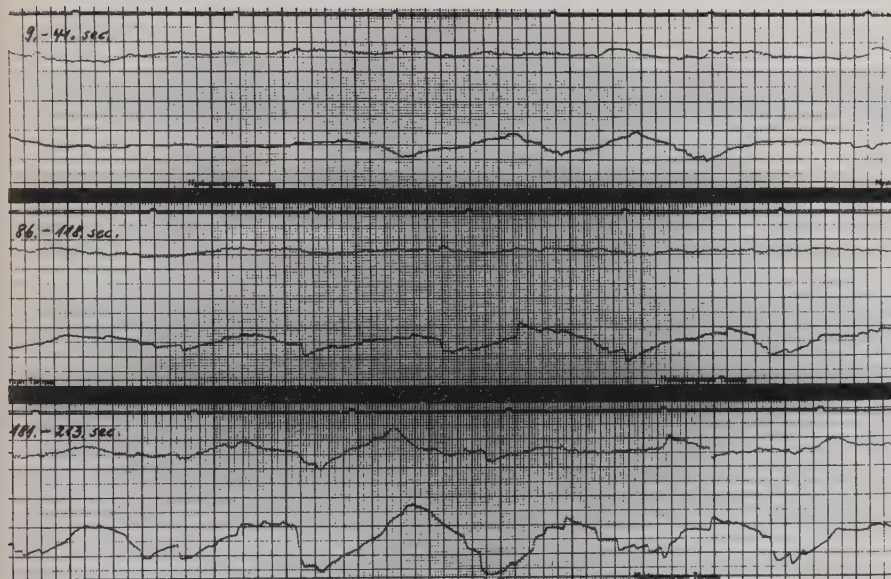


ABBILDUNG III: Audiokinetische Reaktion auf Dauerrauschen. Zu Beginn keine Bewegungen der Bulbi. Langsam zunehmend richtungswechselnder Nystagmus, später auch synchron ablaufende Deviationen. Die Reaktion erreicht ihre stärkste Phase nach 3 Minuten. Kein Schwindel, keine Übelkeit. Subjektiv Kreisbewegung des Rauschens. Keine Aufforderung zum Verfolgen der Hörreize.
 (26 j. Frau)

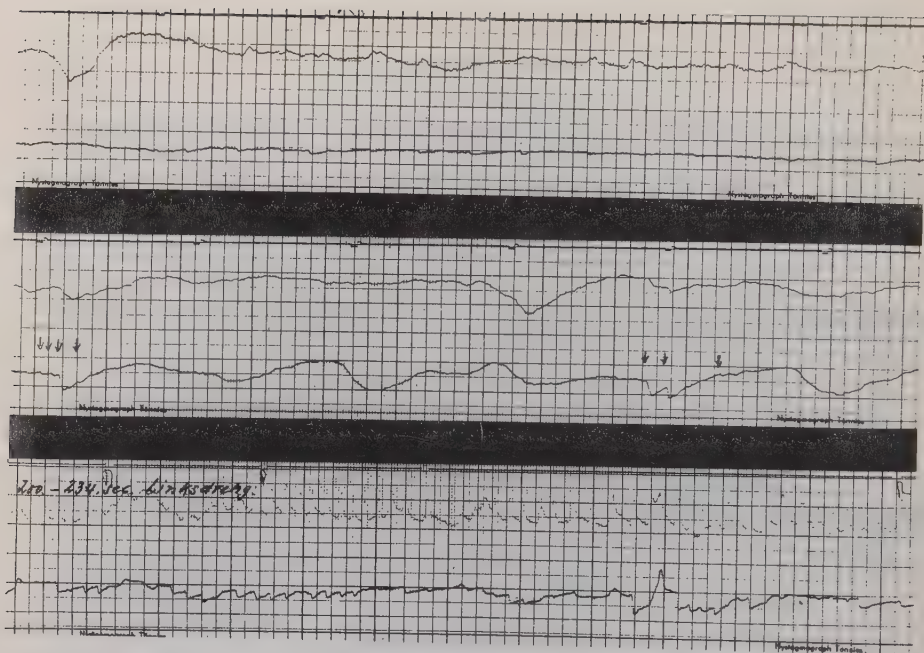


ABBILDUNG IV: Atypische Reaktion während Dauerrauschen bzw. Dauerton.

Obere Kurve : Nach 186 sec. sehr feinschlägiger Nystagmus in der Drehrichtung (links) für 30 sec. Sonst keine audiokinetische Reaktion. Vestibuläres Linksüberwiegen. Keine Übelkeit, kein Schwindel.
(27 j. Mann, Rauschen)

Mittlere Kurve: Von Anfang an kleine Deviationen (müde). nach 215 sec. einige Schläge in der Drehrichtung (links). Vestibuläres Linksüberwiegen. Keine Übelkeit, kein Schwindel.
(30 j. Mann, Rauschen)

Untere Kurve: Ab 120 sec. bis Ende der Beschallung durchgehender Nystagmus in der Drehrichtung (links). Pathologisches vestibuläres Linksüberwiegen. Keine Übelkeit, kein Schwindel.
(17 j. Mann, Dauerton)

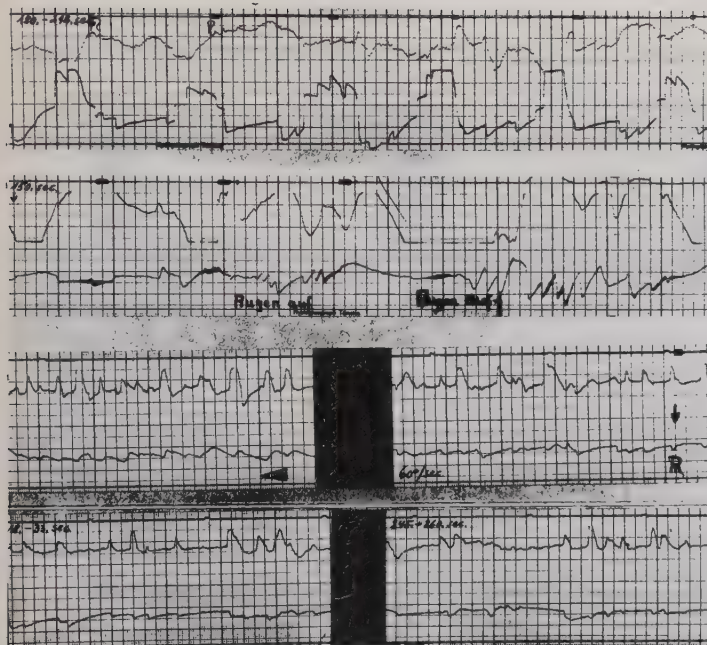


ABBILDUNG V:

Obere Kurve: Sehr starke audiokinetische Reaktion während Dauerton über die ganze Beschallungsdauer. Keinerlei subjektive Beschwerden.
(20 j. Mann)

Mittlere Kurve: Übelkeit während Dauerton, nach 150 sec., ohne stärkere audiokinetische Reaktion. Augenöffnen ergibt optokinetischen Effekt.
(19 j. Mädchen. Kollapsneigung nach Tonsillektomie)

Kleine Kurven: Deutliche zweite (inverse) Phase des perrotatorischen vestibulären Nystagmus während Rechtsdrehung, klingt unter Beschallung mit Rauschen langsam ab.
(17 j. Mädchen)

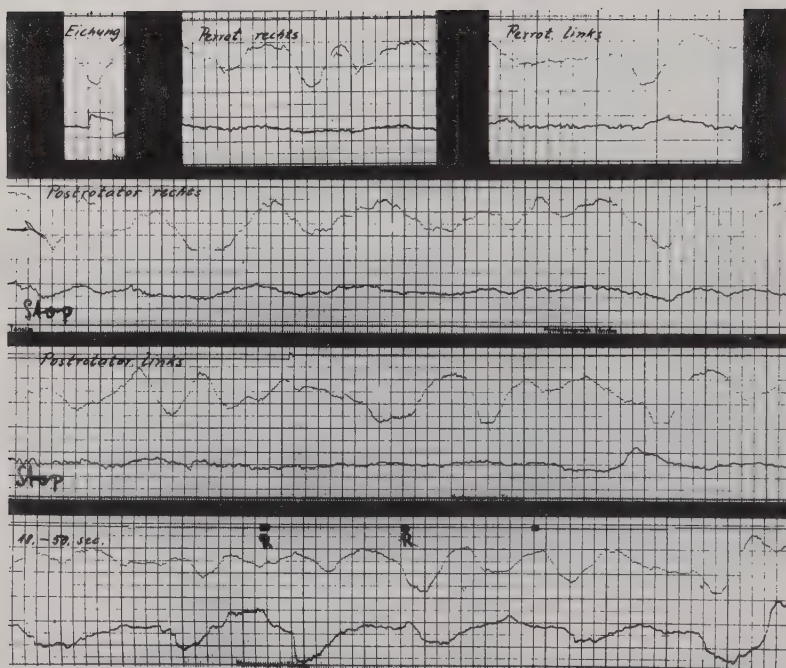


ABBILDUNG VI: Audiokinetische Reaktion bei hochgradiger
 vestibulärer Untererregbarkeit. Auffallend
 geringer Ruckanteil während Dauerbeschallung.
 (56 j. Mann, 250 Hz Ton)

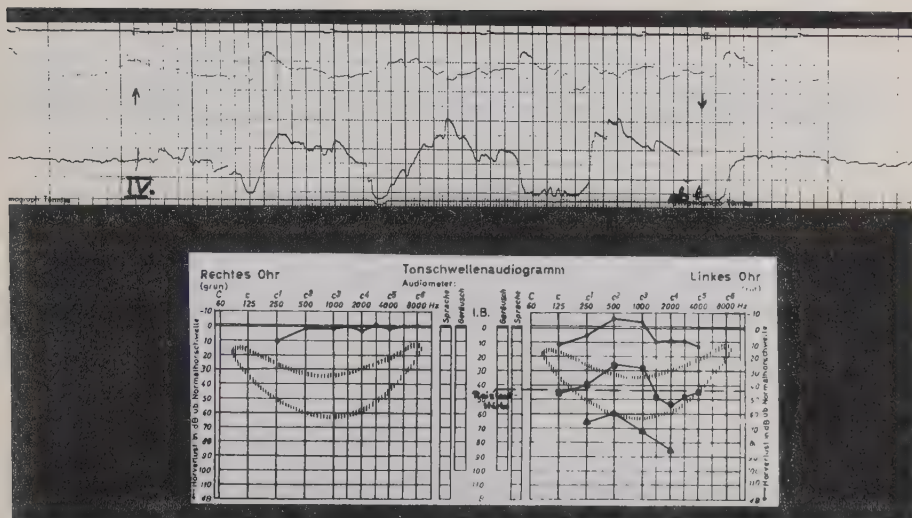


ABBILDUNG VII: Der Rotation des Hörreizes kongruent ablaufende audiokinetische Bewegungen der Bulbi trotz ausreichender Ausschaltung eines Ohres.

- Normale Hörschwelle
- Hörschwelle nach Vertäubung mit OHROPAX
- ▲ Hörschwelle mit OHROPAX und Vertäubung durch Blindkopfhörer

ABBILDUNG VIII: Audiokinetische Reaktion der Bulbi bei binauralem (Kurve I) und monauralem Hören (übrige Kurven) der gleichen Versuchsperson.

Binaural (Kurve I schwellennahe Prüfung in Serie a) umdrehungssynchron umschlagender Nystagmus.

Exakter Kurvenablauf während der ersten Drehung bei monauraler Reizung mit den Prüftönen 1000 Hz und 2000 Hz nach Ausschaltung des Richtungsgehörs (siehe Audiogramm) (Kurve III u. IV).

Unregelmäßige Ausschläge vorwiegend kurz nach Einschalten des Prüftones (2000 Hz) bei der zweiten Drehung (Kurve IV /2).

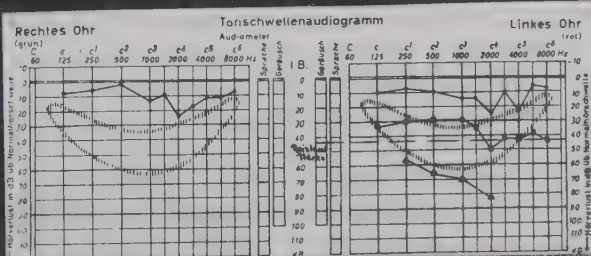
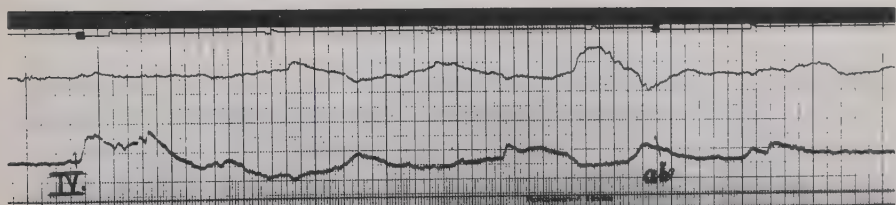
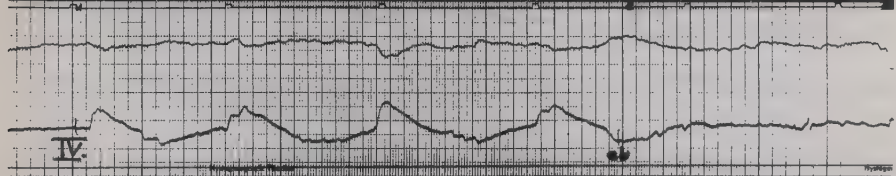
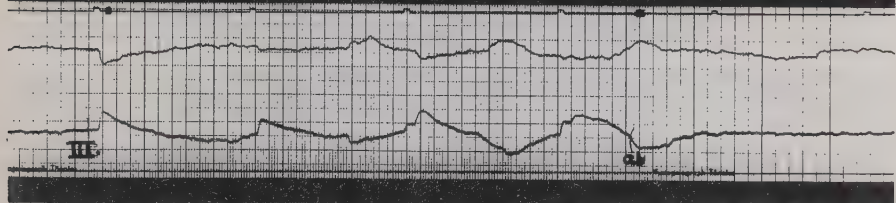
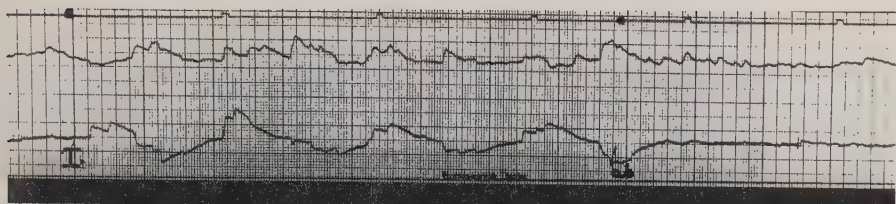




ABBILDUNG IX:

Obere Kurve: 48 j. Mann. An Taubheit grenzende Innenohrschwerhörigkeit einer Seite seit ca. 2 Wochen (Hörsturz). Nur kurze Reaktion auf Einschalten des 250 Hz-Tons. Subjektiv: Keine Bewegung der Töne erkennbar.

Mittlere Kurve: 27 j. Frau. Einseitig taub seit 2 Jahren (Mumps). Maximale aktive Blickintentionen ohne Beziehung zur Bewegung des 1000 Hz-Tons. Subjektiv: Kreisbewegung.

Untere Kurve: Gleiche Patientin. Rucke wechselnder Richtung, nicht synchron der Bewegung des 500 Hz-Tons.

Ich danke Herrn Oberarzt Dr. Ganz für
die Themenstellung und die Zeit und
Mühe, die er auf die Arbeit verwandt
hat.

Herrn Prof. Dr. Berendes gebührt mein
Dank für die freundliche Übernahme des
Correferats.

LEBENS LAUF

Ich, Friedrich Wilhelm Huth, wurde am 28. Januar 1943 in Iserlohn/Nordrh.-Westf. als Sohn des Augenarztes Dr. med. Karl Huth und seiner Ehefrau Elisabeth geb. Beck geboren. Von 1949 bis 1953 besuchte ich die Volksschule in Iserlohn und ging ab Ostern 1953 auf das Märkische Gymnasium in Iserlohn, wo ich im Februar 1962 die Reifeprüfung bestand. Danach studierte ich ab Sommersemester 1962 in Heidelberg Medizin. Am 7.5.1965 bestand ich dort die ärztliche Vorprüfung.

Nach dem Sommersemester 1965 wechselte ich von Heidelberg nach Marburg, wo ich am 18. Juli 1968 das Medizinische Staatsexamen bestand.

